

Műtrágyázás és meszezés hatása a 30 éves kompolti OMTK kísérletben

KÁDÁR IMRE és HOLLÓ SÁNDOR

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest és
Károly Róbert Főiskola Fleischmann Rudolf Kutatóintézete, Kompolt

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A különböző adagú és arányú NPK-műtrágyák hatásának vizsgálata céljából 1966-ban kezdődtek meg hazánkban az ún. egységes Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK). Az eredetileg 26 termőhelyen azonos metodikával indított nagyszabású kísérletsorozat tervét az akkori Földművelésügyi Minisztérium által megbízott kollektíva dolgozta ki Láng Géza vezetésével. A kísérleteket ún. „terített” vetésforgóban évente fokozatosan állították be. Minden kísérlet külön kódszámot kapott a beállítás évének és a forgónak megfelelően.

Az országos kísérletsorozat főbb eredményeit a DEBRECZENI & DEBRECZENINÉ (1994) szerkesztésében megjelent monográfia, valamint a BLASKÓ és munkatársai (1998) által szerkesztett tanulmánykötet foglalta össze. A mélyfűrésok, ill. a $\text{NO}_3\text{-N}$ mozgásával kapcsolatos eredményekről NÉMETH (1995, 1996) számolt be.

A továbbiakban az 1967 őszen indult B-17 jelű tartamkísérlet 30. évének eredményeit ismertetjük, melyek átfogó közlésére még nem kerülhetett sor. Ebben az évben a kukorica fejlődési rendellenességeket mutatott, ezért sokoldalú talaj- és növényvizsgálatokat kezdeményeztünk a talajtermékenységét gátló tényezők megismerése céljából. A tartamkísérlet néhány eredményéről korábbi közleményeink tudósítanak (HOLLÓ, 1994, 2003; HOLLÓ & KÁDÁR, 2003).

Anyag és módszer

A kompolti kísérleti telep az É-Alföld hordalékkúpján, a Mátra és a Bükk hegységektől délre helyezkedik el. Talajtípusa a mezősegi és erdősegi talajok közötti átmenetet alkotó löszös üledékes, andezit málladékos agyagon kialakult mély humuszcserésgű, nem karbonátos csernozjom barna erdőtalaj. E talajok különböző változatai az Alföld északi tájain mintegy 220 ezer ha területet foglalnak el. A talaj fizikai tulajdonságai kedvezőtlenek, nehezen művelhető. Szárazság hatására erősen zsugorodik, mélyen és szélesen repedezik, míg nedvesedve megduzzad. A talajvíz

Postai cím: KÁDÁR IMRE, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15. *E-mail:* kadar@rissac.hu

8–10 m mélyen található, így a csapadék mennyisége és eloszlása a műtrágyák érvényesülése és a termésképzés szempontjából egyaránt meghatározó. Az agyagos vályog mechanikai összetételre utal a 40–48% agyag (0,002 mm alatti frakció), illetve a mintegy 60%-ot elérő leiszapolható rész (0,01 mm alatti frakció). A humuszos réteg vastagsága 50–80 cm, a szántott réteg humuszkészlete 2,5–3,0%, nitrogénnel közepesen, foszforral gyengén, káliummal eredetileg jól ellátott.

A feltalaj erősen kilúgzott, meszet nem tartalmaz. Elsavanyodására utal az eredetileg is 5 alatti pH(KCl), illetve a 15–20 közötti hidrolitos aciditás (y_1) érték. Az altalaj kötöttebb, kevésbé elsavanyodott, bázisellátottsága a 80%-ot is meghaladhatja. Az uralkodó kationok mennyisége az S-érték %-ában az alábbi: Ca 84, Mg 10, Na 4, K 2. Az S-érték itt 37, míg a T-érték 42 me/100 g-nak adódott. A feltalaj a bázisainak egy részét már elvesztette.

Az alsóbb talajrétegek kémhatása semleges körüli, 130–150 cm mélységben már lúgos. Ebben a rétegben a talaj mészfoltok és konkréciók formájában CaCO_3 -ot is tartalmaz. STEFANOVITS és DOMBÓVÁRINÉ (1985) agyagásványtani röntgendiffrakciós vizsgálatai szerint a 0–35 cm-es rétegben kalcit és dolomit ásványok nem találhatók, míg ennél mélyebben mennyiségük 1% körüli. A kísérleti területet reprezentáló talajszelvény főbb vizsgálati adatait az 1. táblázat szemlélteti a kísérlet beállítását követő években. Amint megfigyelhető, a mélységgel egyértelműen emelkedik a pH(KCl), valamint az oldható Mg- és Na-készlete, ill. csökken az y_1 hidrolitos aciditás és az oldható $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, K, P, Zn és Cu koncentrációja. A KCl+EDTA-oldható Mn-mennyiséget viszont a genetikai szintek változása nem befolyásolja.

1. táblázat

A kísérleti hely talajszelvényének vizsgálati adatai a kísérlet beállítását követően
(Csernoizjom barna erdőtalaj, agyagos vályog, Kompolt)

(1) Vizsgált jellemzők*	(2) Genetikai szint jele és mélysége cm-ben			
	A-szint 0–32 cm	B-szint 32–76 cm	BC-szint 76–112 cm	C-szint 112 cm
pH(KCl)	4,8	4,9	5,1	6,6
Hidrolitos aciditás (y_1)	18,9	14,7	10,6	–
KCl-Mg (mg Mg/kg)	643	1417	1429	1397
AL-K (mg K_2O /kg)	216	225	169	189
KCl+EDTA Mn (mg Mn/kg)	70	73	68	72
AL-Na (mg Na/kg)	48	78	151	224
AL-P (mg P_2O_5 /kg)	28	6	3	11
KCl+EDTA Cu (mg Cu/kg)	6,6	5,5	4,4	3,5
KCl- NH_4 (mg N/kg)	6,4	4,3	3,4	3,1
KCl- NO_3+NO_2 (mg N/kg)	5,4	2,1	1,1	1,1
KCl+EDTA Zn (mg Zn/kg)	3,5	1,2	1,6	2,6
Humusz %	2,6	1,5	0,9	0,8

Vizsgálatok módszere: * MÉM NAK (1978) módszerfüzete szerint

A B-17 jelű kísérletet 1967 őszén állították be 20 kezeléssel és 4 ismétlésben, azaz összesen 80 parcellában. A műtrágyaadagok a 4. és 21. év után változtak, megemelkedtek a kor elvárásainak megfelelően. Eltértek növényfajonként is. Amint a 2. táblázatban látható, a 4. év után a búza és a kukorica azonos NP-trágyázásban részesült. A kukorica nagyobb K-igényét a 21. évtől a megemelt K-adagok tükrözik. A kísérlet dikultúrát jelent, búza–búza–kukorica–kukorica váltással. A P- és K-műtrágyákat, valamint a nitrogén felét őszi szántás előtt, a nitrogén másik felét tavasszal szórjuk ki pétisó, szuperfoszfát és kálisó formájában.

2. táblázat

Műtrágyaadagok (kg N, P₂O₅, ill. K₂O/ha/év) a B-17 jelű OMTK kísérletben
(Csernozjom barna erdőtalaj, agyagos vályog, Kompolt)

(1) NPK- szint	(2) Őszi búza alá adott			(3) Kukorica alá adott		
	1–4. év	5–20. év	21. évtől	1–4. év	5–20. év	21. évtől
0	0	0	0	0	0	0
N ₁	35	50	100	40	50	100
N ₂	70	100	150	80	100	150
N ₃	105	150	200	120	150	200
N ₄	140	200	250	160	200	250
P ₀	0	0	0	0	0	0
P ₁	35	50	60	35	50	60
P ₂	70	100	120	70	100	120
P ₃	105	150	180	105	150	180
K ₀	0	0	0	0	0	0
K ₁	70	100	100	100	100	200

A 20. évet követően 8 t/ha őrölt mészkőporral a kísérlet I. és III. ismétléseit meszeztük, így az 4-tényezős 2 ismétléssé vált. A kísérlet 30. évében Stira-SC hibridkukoricát vetettünk 1997. április 17-én. Július 8-án, 4–6 leveles korban parcellánként 20–20 föld feletti hajtás begyűjtésével átlagmintákat képeztünk. Ekkor a fiatal kukorica lilás-vörös elszíneződést, ill. mérgezési tüneteket mutatott a meszezetlen, főként a foszforral is gyengén ellátott parcellákon. Egyidejűleg talajmintavételre is sor került a szántott rétegből 20–20 pontminta átlagolásával parcellánként. A kísérletben végzett műveleteket és megfigyeléseket a 3. táblázat tekinti át.

A növénymintáknak mértük a friss és nedves tömegét, légszáraz anyag %-át, majd a szárítást és a darálást követően azokat cc. HNO₃+cc. H₂O₂ elegyével elroncsoltuk és ICP-technikát alkalmazva meghatároztuk elemösszetételüket. Betakarításkor a légszáraz szemtermés tömegét regisztráltuk parcellánként. A talajmintákban az alábbi alapvizsgálatokat végeztük: pH(H₂O), pH(KCl), y₁-érték. Ezen túlmenően mértük a cc. HNO₃+cc. H₂O₂ feltárással becsülhető „összes” elemkészletet, valamint az NH₄-acetát+EDTA-oldható elemkoncentrációkat. Az ún. töménysavas „összes”, valamint a LAKANEN és ERVIÖ-féle (1971) elemfrakció analízisek 23 elemre terjedtek ki ICP méréstechnika alkalmazásával.

3. táblázat

Az OMTK B-1730 sz. kukoricakísérletben végzett műveletek és megfigyelések 1996–1997 években (Csernozjom barna erdőtalaj, agyagos vályog, Kompolt)

(1) Műveletek, megfigyelések	(2) Év, hó, nap	(3) Megjegyzés
1. Őszi búza elővetemény aratása	1996. 07. 16.	Parc. kombájn (Claas Compact)
2. Tárcsázás, gyűrűhengerezés	1996. 07. 24.	Crystall + tárcsa + henger
3. Őszi NPK-műtrágyázás	1996. 10. 01.	Parcellánként kézzel
4. Tárcsázás	1996. 10. 01.	Crystall + nehéztárcsa
5. Őszi mélyszántás	1996. 11. 26.	Crystall + négyfejes vontatóeke
6. Kombinátorozás	1997. 03. 26.	Crystall + kombinátor
7. Tavaszi N-műtrágyázás	1997. 04. 02.	Parcellánként kézzel
8. Kombinátorozás	1997. 04. 02.	Crystall + kombinátor
9. Vetés, magtakarás	1997. 04. 17.	MTZ + SPC-6 vetőgép
10. Vegyszeres gyomirtás	1997. 05. 26.	MTZ + permetezőgép (DMA 6)
11. Gyomirtó kultivátorozás	1997. 06. 06.	MTZ + kultivátor
12. Gyomirtó kultivátorozás	1997. 06. 16.	MZZ + kultivátor
13. Növénymintavétel 4–6 leveles korban	1997. 07. 08.	Parcellánként 20–20 db hajtás
14. Talajmintavétel a 0–20 cm rétegből	1997. 07. 09.	Parcellánként átlagminta
15. Növénymintavétel aratáskor (cső+szár)	1997. 10. 01.	Parcellánként átlagminta
16. Betakarítás (kombájnolás)	1997. 10. 08.	Parc. kombájn (Claas Compact)
17. Növénymintavétel kombájnoláskor	1997. 10. 08.	Parcellánként a szemtermésből

Megjegyzés: Kukoricafajta: Hibrid Stira-SC, 70×30 cm-re vetve 5–7 cm mélyre, 16 kg/ha vetőmaggal

Ami a csapadékellátottságot illeti: az őszi búza elővetemény betakarítását követően az 1996. július és december közötti 6 hónap alatt 332 mm eső hullott. 1997. első három hónapjában (január–március) mindössze 35 mm. Áprilisban 20, májusban 50, júniusban 80, júliusban 152, augusztusban 33, szeptemberben 37 mm, azaz a kukorica aktív tenyészideje alatt 372 mm többé-kevésbé kedvező eloszlásban. Amennyiben a talaj az ezt megelőzően hullott 332 + 35 = 367 mm csapadékot is befogadni és a kukorica számára tárolni volt képes, a kukorica elméletileg összesen 739 mm vízellátottsággal rendelkezhetett.

Kísérleti eredmények

Amint a 4. táblázatban látható, a 20. évben végzett meszezés utóhatása a kísérlet 30. évében (10 év után) még nyomon követhető. Az NP kontrollparcellákon 0,9 eltérés van mind a pH(KCl), mind a pH(H₂O) értékekben. A kísérlet főátlagait tekintve 0,6 a különbség a pH-értékekben a meszezett parcellák javára. Megállapítható, hogy az elsavanyodás okozója alapvetően a N-trágyázás, annak ellenére, hogy a

4. táblázat

Kezelések hatása a szántott réteg kémhatására, hidrolitos aciditására (y_1) és a cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 oldható Sr- és P-készletére a meszezett és kontrollparcellákon, 1997-ben
(Csernozjom barna erdőtalaj, B-17 OMTK kísérlet, Kompolt)

(1) NP- kezelés	pH(KCl)		pH(H_2O)		y_1		Sr	P
	(2) Meszezett	(3) Kontroll	(2) Meszezett	(3) Kontroll	(2) Meszezett	(3) Kontroll	mg/kg*	
N_0P_0	4,9	4,0	6,2	5,3	14	26	48	496
N_1P_0	4,5	4,0	5,6	5,0	22	28	50	522
N_1P_1	4,7	4,0	5,8	5,0	17	30	60	591
N_1P_2	4,5	3,8	5,6	4,9	20	29	71	690
N_2P_0	4,6	3,9	5,7	5,1	19	29	47	487
N_2P_1	4,4	4,0	5,5	5,1	20	28	59	578
N_2P_2	4,6	4,0	5,7	4,9	18	30	71	673
N_3P_0	4,2	3,9	5,3	5,0	23	28	48	515
N_3P_1	4,4	3,7	5,5	4,8	21	32	60	599
N_3P_2	4,5	3,8	5,5	4,8	22	32	70	694
N_4P_3	4,3	3,9	5,2	4,6	24	32	81	780
a) SzD _{5%}	0,4	0,2	0,4	0,2	6	4	5	49
N_1	4,6	3,9	5,7	5,0	19	29	61	601
N_2	4,5	4,0	5,6	5,0	19	29	59	579
N_3	4,4	3,8	5,4	4,8	22	31	59	603
P_0	4,4	3,9	5,5	5,0	21	28	49	508
P_1	4,5	3,9	5,6	5,0	19	30	60	589
P_2	4,5	3,9	5,6	4,9	20	30	71	686
a) SzD _{5%}	0,2	0,1	0,2	0,1	4	2	3	28
b) Főátlag	4,5	3,9	5,6	5,0	20	29	60	599
a) SzD _{5%}	0,1		0,1		2			

Megjegyzés: Egyéb elemek átlagos mennyisége a kezelésektől függetlenül: Al 4,26%, Fe 3,13%, K 0,63%, Ca 0,48%, Mg 0,48%, összes-N 0,16% (cc. H_2SO_4 feltárással); Na 254, Zn 69, Cu 20 és B 9 mg/kg. *A meszezett és a kontroll átlagában

N-trágya formáját pétisó, tehát a kevésbé savanyító Ca-ammónium-nitrát hatóanyag képviselte. A P- és K-műtrágyák savanyító hatását nem lehetett igazolni.

Az y_1 mutatók alapján még a meszezett kontrolltalaj is savanyúnak minősül, míg a meszezetlen kísérlet az erősen savanyú kategóriába tartozik a hazai határértékek szerint. Az általánosan elfogadott mérszigény számítási képlet szerint a 40–50 K_A kötöttségénél 0,8 $y_1 = \text{CaCO}_3$ t/ha (MÉM NAK, 1979), tehát 15–20 t/ha lehet a mérszigény. Az erősen kötött talajok kiugróan nagy mérszigénye közismerten a szerkezetjavítás céljait is szolgálhatja. Az y_1 -értékek látványosan mutatják az elsavanyodás mértékét, valamint a korábbi meszezés utóhatását. A nem meszezett kísérlet átlaga 29, szemben a meszezett $y_1 = 20$ átlaggal.

A cc. HNO_3 +cc. H_2O_2 feltárással becsült „összes” elemkészletben természetesen nehezebb kimutatni az esetleges változásokat a szántott rétegben, hiszen a hibahatárok nagyok. 30 év után azonban van esély bizonyos elemek dúsulását vagy esetleges fogyását regisztrálni. Elsősorban a műtrágyákkal nagyobb mennyiségben adott elemek jöhetnek tekintetbe, valamint egyes esetekben a növényi felvétel és a kilúgzással okozott veszteségek. A hazai szuperfoszfátgyártás alapanyagául szolgáló Kóla-foszfátok 2% körüli mennyiségben tartalmazhatnak stronciumot (KÁDÁR, 1992).

A 4. táblázat eredményei szerint az abszolút kontroll-, ill. a P-kontroll talajok Sr-tartalma 48–50 mg/kg, mely a P-trágyázással 70–80 mg/kg értékre nőtt, tehát a feltalaj Sr-készlete mintegy 50%-kal emelkedett. Ugyanitt az „összes”-P készlet a P-kontroll parcellákon mért 500 mg/kg körüliről 780 mg/kg-ra ugrott a P_3 -kezelésben, mely 64%-os gazdagodást jelent a talaj szántott rétegében. Meg kell említeni, hogy e módszerrel a talaj valódi összes elemkészlete teljes mértékben nem tárható fel, de a módszer utal a talaj összetételében végbement hatalmas változásokra. A meszezés az „összes” P- és Sr-készletet nem befolyásolta a talajban, adatainkat ezért a meszezett és nem meszezett parcellák átlagában közöljük.

A meszezett feltalajban 0,50%, míg a kontrollban 0,45% kalciumot mértünk. A különbség 10 év után statisztikailag igazolható. Amennyiben ilyen módon becsül-nénk a talajban maradt Ca-mennyiséget, a 3000 t/ha feltalaj 0,05%-a 1,5 t Ca/ha, azaz $1,5 \times 2,5 = 3,75$ t CaCO_3 /ha mennyiségnek felelhetne meg. A 8 t/ha örlött mészkőpor közel fele tehát a szántott rétegben maradhatott. Hasonló becslést végezve a foszfor esetében feltételezhető, hogy a P_3 -kezelésekben adott kb. 4000 kg P_2O_5 /ha/30 év trágyázásnál (amennyiben a növényi felvétel az adott P közel felét használta fel), a talajban maradt foszfor közelítően 50%-a mutatható ki e módszerrel a szántott rétegben. A felhasznált 20–24 t szuperfoszfát/ha/30 év 1–2%-os Sr-tartalmából kiindulva ugyanakkor a P_3 -kezelések talaja hektáronként mintegy 200–400 kg stronciummal gazdagodhatott a három évtized alatt. Mivel a feltalaj „összes” Sr-készlete átlagosan itt 30 mg/kg értékkel nőtt (azaz 90–100 kg/ha mennyiséggel, a növényi felvétel pedig elhanyagolható), az adott Sr 25–50%-a található a szántott rétegben. A Sr-kilúgozás mértéke nem ítéhető meg. Az NH_4 -acetát+EDTA-oldható Sr-készlet ugyanitt átlagosan 15 mg/kg értékkel emelkedett, tehát az „összes”-Sr fele volt „oldható” formában az 5. táblázat adatai szerint.

Az „összes”-K-készlet 0,65% volt a káliummal trágyázott parcellákon, szemben a K-kontroll talaj 0,60% K-tartalmával. A különbség a nagyszámú adat birtokában statisztikailag szintén igazolható. Egyéb vizsgált elemek átlagos „összes” mennyisége az alábbiak adódott a kezelésektől függetlenül: Al 4,26%, Fe 3,1%, Mg 0,48%, összes-N (cc. H_2SO_4 feltárással) 0,16%, Mn 888, Zn 69, Cu 20 és B 9 mg/kg.

Az NH_4 -acetát+EDTA-oldható frakcióban a változások pregnánsabban tükröződnek. A P-tartalom közel egy nagyságrenddel ugrik meg a trágyázatlan kontrollhoz képest a meszezett kísérlet P_3 -kezelésében. A szuperfoszfát 10–12% S-tartalma nyomán ugyanitt 2–3-szorosára nő a szántott réteg S-készlete. Részben hasonló módon gazdagodik a feltalaj stronciumban. Ezzel szemben a Ba-koncentrációt a P-trágyázás mérsékelte. A kísérlet főátlagai szerint a meszezés nem befolyásolta a

foszfor és a stroncium átlagos mennyiségeit. A bárium némileg dúsult a meszezéssel, míg a kén mennyisége csökkent. A bárium a meszezőanyag alkotójaként kerülhet a talajba, akkumulálódhat. Úgy tűnik a Ca^{2+} kimosódásával a SO_4^{2-} , mint kísérő-ion, is veszteséget szenvedhet (5. táblázat).

5. táblázat

Kezelések hatása a szántott réteg NH_4 -acetát+EDTA-oldható elemkészletére a meszezett (M) és kontrollparcellákon (Ø), 1997-ben
(Csernozjom barna erdőtalaj, B-17 OMTK kísérlet, Kompolt)

(1) NP- kezelés	P_2O_5 , mg/kg		Ba, mg/kg		S, mg/kg		Sr, mg/kg	
	M	Ø	M	Ø	M	Ø	M	Ø
N_0P_0	14	29	40	40	12	18	12	17
N_1P_0	30	17	39	37	23	24	17	14
N_1P_1	39	45	36	32	32	38	20	20
N_1P_2	78	84	34	28	29	46	24	27
N_2P_0	19	17	38	39	18	23	14	14
N_2P_1	40	39	35	32	29	31	20	18
N_2P_2	76	76	35	28	31	38	26	24
N_3P_0	16	26	39	35	19	22	14	14
N_3P_1	36	51	36	29	26	38	18	21
N_3P_2	83	68	35	27	34	43	26	23
N_4P_3	134	103	29	21	46	58	30	27
a) $\text{SzD}_{5\%}$	21	17	3	6	10	10	4	5
N_1	49	49	36	32	28	36	20	20
N_2	45	44	36	33	26	31	20	19
N_3	45	48	36	31	26	34	19	19
P_0	22	20	39	37	20	23	15	14
P_1	38	45	36	31	29	36	19	20
P_2	79	76	35	28	32	42	25	25
a) $\text{SzD}_{5\%}$	12	10	2	3	6	6	2	3
b) Főátlag	49	49	36	32	27	34	20	20
a) $\text{SzD}_{5\%}$	6		2		4		1	

Bizonyos esetekben az NP-hatások nem voltak igazolhatók, viszont a főhatásokban a meszezés vagy a K-trágyázás igen. A meszezett talaj több oldható Ca, Na és B elemet tartalmazott részben a meszezőanyag összetételéből eredően. A meszezőanyagok B-készlete esetenként jelentős lehet, ritkán a növények számára mérgező mennyiséget is jelenthet. Esetünkben a meszezetlen talajon mért igen kis koncentráció azonban a mérés bizonytalanságát is tükrözi. Szegényebb viszont a meszezett talaj az oldható Al-, Fe-, M-, Ni-, Pb-, Co- és Cr-tartalmakat tekintve. Ezek a fémek közismerten inkább a savas közegben oldhatóbbak. Adatainkat a 6. táblázat szemlélteti. Meg kell említeni, hogy sajnos nem ismert az alkalmazott javítóanyag össze-

tétele. Csak feltételezhető, hogy a meszezőanyaggal bevitt elemek okozhattak esetenként mennyiségi növekedést vagy hígulást a feltalajban. Az „összes”-B-tartalomban pl. nem mutatható ki a meszezés vagy egyéb kezelés hatása, míg az „oldható” készlet szignifikánsan megnőtt. Az NH_4 -acetát+EDTA-oldható elemtartalmakban fellépő változások a talajbani oldhatósági viszonyok módosulását tükrözhetik.

6. táblázat

Meszezés hatása a szántott réteg NH_4 -acetát+EDTA-oldható elemkészletére 1997-ben
NPK-kezelések átlagai. Meszezés főhatások
(Csernozjom barna erdőtalaj, B-17 OMTK kísérlet, Kompolt)

(1) Elem jele	(2) Meszezett	(3) Ca-kontroll	(4) SzD _{5%}	(5) Átlag
mg/kg				
Ca	3230	2590	130	2910
Fe	243	289	21	266
Al	138	215	16	177
Mn	88	117	7	102
Ba	36	32	2	34
Na	12,24	10,96	0,67	11,60
Ni	4,95	5,83	0,18	5,39
Pb	3,52	4,00	0,36	3,76
Zn	1,37	0,98	0,25	1,18
Co	1,08	1,25	0,08	1,16
B	0,11	0,02	0,03	0,06
Cr	0,10	0,16	0,06	0,13

A K-trágyázás igazolhatóan csökkentette a Ca, Mg, Mn, Ba és Co oldható mennyiségét a szántott rétegben, mely elemek a kálium antagonista kationjainak tekinthetők. A megfelelő kötési helyekről K által „kiszorított” antagonista elemek feltehetően nagyobb kimosódási veszteségeket szenvedtek az idők folyamán. A K-műtrágya fő összetevői a kálium és nátrium, mely elemek készlete nőtt a K-trágyázással. A szántott réteg oldható K-készlete megduplázódott, a K-kontroll talajon mért 167 mg/kg 355 mg/kg értékre emelkedett. A Se-tartalom némileg szintén dúsult. Ennek oka ismeretlen (7. táblázat).

Összefoglalóan megállapítható, hogy a meszezés a talaj Ca-, Na-, Ba-, Zn- és B-készletét növelte, mely elemekben a meszezőanyag gazdag lehet. A Mg-tartalom nem változott, magnéziumban gazdag meszezőanyagot (dolomitport) nem alkalmaztak. Csökkentette ugyanakkor azon elemek oldható koncentrációját, melyek inkább az elsavanyodó talajban mobilizálódhatnak: Fe, Al, Mn, Ni, Pb, Co és Cr. A S-készlet mérséklődése összefügghet a Ca^{2+} kísérőionjaként kilúgzódó SO_4 -S veszteséggel. Ugyanakkor a Cu-, Cd- és Mo-mennyiség érdemben nem változott a kezelésektől függetlenül (7. táblázat).

7. táblázat

K-trágyázás hatása a szántott réteg NH₄-acetát+EDTA-oldható elemkészletére 1997-ben
NPCa-kezelések átlagai. K-főátlagok
(Csernozjom barna erdőtalaj, B-17 OMTK kísérlet, Kompolt)

(1) Elem jele	(2) K-trágyázás	(3) K-kontroll	(4) SzD _{5%}	(5) Átlag
mg/kg				
Ca	2840	2980	130	2910
Mg	326	374	10	350
K ₂ O	355	167	16	265
Mn	99	105	7	102
Ba	32	36	2	34
Na	12,17	10,83	0,67	11,60
Se	1,49	1,16	0,24	1,32
Co	1,10	1,23	0,08	1,16

Megjegyzés: Cu átlagosan 3,48, Cd 0,09, Mo 0,01 mg/kg koncentrációt mutatott a kezelésektől függetlenül

A kukorica terméseredményeit a 8. táblázat részletezi. Amint az adatokból látható, a legkisebb hajtástömeget 4–6 leveles korban nem a 30 éve semmiféle trágyázásban nem részesült kontroll-, hanem a meszezetlen kísérlet egyoldalúan N-trágyázott és elsavanyodott, P-hiányos parcellái adták. Itt az állomány antociános elszíneződést, mérgezési tüneteket mutatott. Meszezett talajon a fiatal kukorica kiegyenlítettebben fejlődött, az egyoldalú N-túlsúly negatív hatása kevésbé jelentkezett, a P-hiány kevésbé volt kifejezett.

Ismeretes, hogy a P-trágyázás tompíthatja az elsavanyodás káros következményeit. A növényre nem a savanyú közeg fejt ki negatív hatást önmagában, hanem a felszaporodó, toxikussá váló fémek (mint az Al, Fe, Mn stb.), melyeket a P foszfátok alakjában kicsaphat. És egyben a P-hiányt megszüntetve ellensúlyozza a N-túlsúlyt, helyreállítja a kiegyensúlyozott N/P ellátást. Ez magyarázza a látványos P-hatásokat a kísérletben 4–6 leveles korban. A hajtás légszáraz anyagtartalma átlagosan 13% körül ingadozott a fiatal korban (8. táblázat).

Betakarítás idejére a meszezés átlagos hatása csak mérsékelten jelentkezett, idővel a növény gyökerei a mélyebb és kevésbé elsavanyodott talajrétegekben fejlődhetek. Míg a 4–6 leveles kukorica hozamát a P-trágyázás és a meszezés befolyásolta döntően a feltalaj erősen savanyú viszonyai között, a későbbi fejlődés során a N-ellátás vált meghatározóvá. Az N₁-adag átlagosan 4 t/ha, a meszezés csupán 2 t/ha szemterméstöbbletet eredményezett. A hosszú tenyészidő alatt a növények kielégíthették P- és K-igényeiket a trágyázatlan talajból is, betakarításkor a P és K hatásai már nem igazolhatók. Kedvezően csapadékos év hatásaként a talaj P- és K-formái jobban oldódnak, felvehetőségük javul, a trágyahatások visszaszorulnak. Az erősödő N-kimosódás és az intenzívebb biomasza-fejlődés nyomán viszont a N-trágya hatása kifejezettebbé válik (8. táblázat).

8. táblázat

Kezelések hatása a kukorica hozamára 4–6 leveles korban és aratáskor a meszezett (M) és kontrollparcellákon (Ø) 1997-ben
(Csernozjom barna erdőtalaj, B-17 OMTK kísérlet, Kompolt)

(1) NP- kezelés	(2) Friss hajtás, g/20 db		(3) Légszáraz hajtás, g/20 db		(4) Szemtermés, t/ha	
	M	Ø	M	Ø	M	Ø
N ₀ P ₀	655	447	80	64	8,8	7,6
N ₁ P ₀	547	228	66	33	13,3	11,1
N ₁ P ₁	800	448	91	59	13,1	11,5
N ₁ P ₂	927	697	102	82	14,1	12,0
N ₂ P ₀	571	240	67	34	14,2	11,0
N ₂ P ₁	712	385	83	50	14,1	11,3
N ₂ P ₂	966	651	110	77	14,4	12,4
N ₃ P ₀	457	271	56	35	13,0	11,1
N ₃ P ₁	579	409	70	60	13,6	12,0
N ₃ P ₂	930	596	107	74	13,2	11,9
N ₄ P ₃	1138	723	128	82	12,2	12,0
a) SzD _{5%}	171	143	18	18	1,3	1,1
N ₁	758	471	86	58	13,5	11,5
N ₂	750	426	86	54	14,2	11,6
N ₃	655	425	78	56	13,3	11,7
P ₀	525	246	63	34	13,5	11,1
P ₁	697	428	81	56	13,6	11,6
P ₂	941	648	106	77	13,9	12,1
a) SzD _{5%}	99	83	11	10	0,7	0,6
b) Főátlag	739	455	85	58	13,3	11,4
a) SzD _{5%}	86		9		0,4	

Most lássuk, hogyan alakul a fiatal hajtás elemösszetétele? Mint ismeretes, a növények tápláltsági állapotát összetételük tükrözi, így a talajok ellátottsága is közvetve becsülhetővé válik a levéldiagnosztikai adatok alapján. A 4–6 leveles korú fiatal kukorica hajtásának optimális összetétele a nemzetközi irodalmi adatok (BERGMANN & NEUBERT, 1976) és saját vizsgálataink szerint (ELEK & KÁDÁR, 1980; KÁDÁR, 1992) az alábbi: 3,5–5,0% N, 3–4% K, 0,3–0,7% Ca, 0,3–0,5% P, 0,3–0,6% Mg, 0,3–0,5% S, 50–250 mg/kg Fe, 30–300 mg/kg Mn, 20–60 mg/kg Zn, 5–20 mg/kg Cu, 6–25 mg/kg B, 0,5–1,0 mg/kg Mo. A tápláltsági állapot megítéléséhez természetesen az elemek arányait is figyelembe kell venni. A kiegyensúlyozott főbb arányok, pl.: N/P 10–12, K/P 8–10, K/Ca 5–10, K/Mg 7–15, P/Fe 25–50, P/Mn 20–100, P/Zn 50–150. A 4–6 leveles kukorica tápláltsági állapotáról a 9. táblázat tájékoztat.

A 4–5% N-tartalom kielégítő ellátottságot jelez. A humuszos talaj N-trágyázás nélkül is fedezte a növények igényét ebben a korban, a trágyázás vagy meszezés

érdemi változást nem okozott a N-tartalomban. Az agyagos vályogtalaj bőséges K-ellátást biztosított. K-trágyázás nélkül 4,30%, K-trágyázással 4,83% volt az átlagos K-tartalom. Megemlítjük, hogy a Ca/K antagonizmusra visszavezethetően a nem meszezett talajon mért 4,67% K-tartalom igazolhatóan 4,49%-ra mérséklődött. Az említett határértékek alapján kielégítő ellátottságot jelzett a kén, magnézium és bór is a 9. táblázat lábjegyzetében közölt átlagos koncentrációi szerint. A magnézium a K-kontroll talajon kereken 0,29% készlettel rendelkezett, mely a K-trágyázotton 0,26%-ra süllyedt igazolhatóan a K/Mg ionantagonizmusra visszavezethetően.

A „normális” tartományban maradt a mangán koncentrációja. A 9. táblázat eredményei szerint a savanyúságot növelő N-szintek hatására emelkedik, míg a meszezéssel csökken a növényben az Mn-készlet. Az alumínium káros túlsúlyt mutat, mely a normális szintet nagyságrenddel haladja meg. Mindez hozzájárulhatott a

9. táblázat

Kezelések hatása a 4–6 leveles kukorica légszáraz hajtásának elemösszetételére a meszezett (M) és kontrollparcellákon (Ø) 1997. július 8-án
(Csernozjom barna erdőtalaj, agyagos vályog, Kompolt)

(1) NP- kezelés	Mn, mg/kg		Al %		Ca %		P %	
	M	Ø	M	Ø	M	Ø	M	Ø
N ₀ P ₀	127	166	0,28	0,20	0,49	0,53	0,42	0,40
N ₁ P ₀	171	213	0,27	0,28	0,54	0,60	0,41	0,34
N ₁ P ₁	139	160	0,20	0,20	0,57	0,58	0,46	0,40
N ₁ P ₂	149	236	0,17	0,20	0,60	0,65	0,50	0,41
N ₂ P ₀	152	205	0,21	0,25	0,57	0,66	0,43	0,32
N ₂ P ₁	148	228	0,18	0,24	0,58	0,70	0,45	0,34
N ₂ P ₂	144	199	0,13	0,21	0,63	0,65	0,52	0,39
N ₃ P ₀	148	245	0,20	0,31	0,58	0,62	0,39	0,33
N ₃ P ₁	174	250	0,26	0,23	0,57	0,67	0,40	0,35
N ₃ P ₂	191	222	0,16	0,23	0,67	0,63	0,50	0,38
N ₄ P ₃	172	228	0,14	0,20	0,68	0,60	0,60	0,47
a) SzD _{5%}	61	65	0,11	0,11	0,10	0,07	0,08	0,04
N ₁	153	203	0,21	0,22	0,57	0,61	0,46	0,39
N ₂	148	210	0,18	0,23	0,59	0,67	0,47	0,35
N ₃	171	239	0,21	0,26	0,61	0,64	0,43	0,35
P ₀	157	221	0,23	0,28	0,56	0,63	0,41	0,33
P ₁	153	213	0,21	0,22	0,57	0,65	0,43	0,37
P ₂	161	219	0,15	0,21	0,64	0,64	0,51	0,40
a) SzD _{5%}	35	37	0,06	0,07	0,06	0,04	0,05	0,03
b) Főátlag	156	215	0,20	0,23	0,59	0,63	0,46	0,37
a) SzD _{5%}	21		0,04		0,05		0,03	

Megjegyzés: A N 4–5%, K 4–5%, S 0,32%, Mg 0,27% és Fe 0,21% átlagosan. A Na 28, B 8, Ni 1,2, Cr 1,0, Cd 0,3 és Co 0,3 mg/kg átlagosan a kezelésektől függetlenül

fiatal kukorica fejlődési rendellenességéhez. Az Al-túlsúlyt a P-trágyázás és enyhébb mértékben a meszezés mérsékelte.

Összességében a kalcium szintén a „normális” tartományban maradt. A talajsavanyodás depresszív hatása élettanilag nem vezethető vissza a Ca-hiányra. Az együttes NP-adagok nyomán enyhén nőtt a Ca beépülése a növényi szövetekbe. A meszezés utóhatása vagy a K-trágyázás érdemben nem módosította a Ca-koncentrációt. A meszezetlen kísérletben a P-kontroll talajon termett kukorica kicsi, 0,33% körüli P-tartalmat jelez. A P-trágyázás és a meszezés egyaránt javította a foszfor beépülését, mely így a jó ellátottsági tartományba emelkedett (9. táblázat).

A Zn-tartalom megfelelő ellátottságra utal. A P/Zn és Ca/Zn antagonizmus miatt koncentrációja enyhén süllyed. A Sr-beépülést döntően a P-kínálat módosítja. A szuperfoszfátok Sr-készlete, esetleg a P/Sr szinergizmusa is tükröződhet abban, hogy a hajtás Sr-tartalma 2–3-szorosára nőhet a legnagyobb NP-szinten. A meszezés némileg mérsékli a koncentrációját a Ca/Sr antagonizmus nyomán. A bárium

10. táblázat

Kezelések hatása a 4–6 leveles kukorica légszáraz hajtásának Zn-, Sr-, Ba- és Cu-tartalmára a meszezett (M) és kontrollparcellákon (Ø) 1997. július 8-án (Csernozjom barna erdőtalaj, B-17 OMTK kísérlet, Kompolt)

(I) NP- kezelés	Zn, mg/kg		Sr, mg/kg		Ba, mg/kg		Cu, mg/kg	
	M	Ø	M	Ø	M	Ø	M	Ø
N ₀ P ₀	55	52	22	34	19	20	15	13
N ₁ P ₀	56	51	32	40	22	29	13	13
N ₁ P ₁	58	52	38	47	17	19	12	11
N ₁ P ₂	52	50	51	63	16	20	10	10
N ₂ P ₀	63	54	32	42	20	27	13	12
N ₂ P ₁	57	52	38	53	18	23	12	10
N ₂ P ₂	52	53	52	61	14	19	10	9
N ₃ P ₀	58	52	29	51	19	29	13	11
N ₃ P ₁	55	51	36	58	21	22	11	10
N ₃ P ₂	50	47	52	58	16	20	10	9
N ₄ P ₃	49	48	67	66	14	27	9	8
a) SzD _{5%}	6	5	8	8	7	7	2	2
N ₁	55	51	40	50	18	23	12	11
N ₂	57	53	41	52	17	23	12	11
N ₃	54	50	39	56	18	24	12	10
P ₀	59	52	31	44	20	28	13	12
P ₁	57	52	38	53	18	22	12	11
P ₂	51	50	52	61	15	20	10	9
a) SzD _{5%}	4	3	5	5	4	4	1	1
b) Főátlag	55	51	40	52	18	23	12	10
a) SzD _{5%}	3		3		3		1	

beépülését a meszezés és a P-trágyázás egyaránt gátolta. A réz szintén a kielégítő tartományban ingadozott. Az együttes NP-trágyázással, főként a P-adagok növelésével beépülése mérséklődött. A meszezett kísérletben a Cu mintegy 20%-kal nagyobb akkumulációt mutatott (10. táblázat).

Összefoglalás

Az Országos Egységes Műtrágyázási Tartamkísérletekhez (OMTK) tartozó B-1730 sz. kisparcellás kísérlet Kompolton beállított változatát vizsgáltuk 1997-ben, a kísérlet 30. évében. A csernozjom barna erdőtalaj szántott rétege meszet nem tartalmaz, erősen kilúgzott, a pH(KCl) eredetileg 5 körüli, a hidrolitos aciditás 15–25 közötti, agyagtartalma 40–48 %, humusztartalma 2,5–3,0%, nitrogénnel közepesen, foszforral gyengén, míg káliummal kielégítően ellátott. A talajvíz 8–10 m mélyen helyezkedik el, a termőhely aszályérzékeny. A főbb eredmények:

- A kísérlet 30. évében a 8 t/ha örlött mészkőporral végzett meszezés utóhatása nyomon követhető, meszezett talajon a pH(KCl) és a pH(H₂O) egyaránt 0,6 egységgel nagyobb, az y₁ pedig 29-ről 20-ra csökkent.

- A talajok cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ feltárással becsült „összes”-P készlete 500 mg/kg mennyiségről 780 mg/kg-ra nőtt a maximális P-adaggal, mely 64%-os gazdagodást jelent a szántott rétegben. Ezzel együtt az „összes”-Sr készlet mintegy 50%-kal emelkedett a szuperfoszfátok 2% Sr-szennyezéséből eredően. A kontrolltalajban átlagosan 0,45%, a meszezetten 0,50% Ca-tartalmat mértünk. A különbség statisztikailag igazolható volt. K-trágyázással a K-készlet 0,60%-ról 0,65%-ra emelkedett. E módszerrel az Al 4,26%, Fe 3,1%, Mg 0,48%; Mn 888, Zn 69, Cu 20 és B 9 mg/kg mennyiségnek adódott.

- Az NH₄-acetát+EDTA-oldható (LAKANEN & ERVIÖ, 1971) frakcióban foszfor hatására nagyságrenddel nőhet a P, 2–3-szorosára a S és Sr mennyisége a feltalajban. A meszezett talaj gazdagabb volt Ca, Na, B, Ba és Zn elemekben a meszezőanyag összetételére visszavezethetően. Szegényebb volt viszont az Al, Fe, Mn, Ni, Pb, Co és Cr elemeket tekintve, mely fémek inkább a savas közegben oldhatóbbak.

- A K-kontroll talajon mért K₂O-mennyiség 167-ről 355 mg/kg értékre emelkedett K-trágyázással. Némileg nőtt a Na-készlet is, mely a K-trágya összetevője. A Ca, Mg, Mn, Ba és Co oldható mennyisége viszont csökkent. Feltehetően ezek az antagonista fémek nagyobb kimosódási veszteségeket szenvedtek, kiszorulva a megkötési helyeikről.

- A legkisebb hajtástömeget 4–6 leveles korban nem az abszolút kontroll-, hanem az egyoldalú N-trágyázásban részesült, erősen elsavanyodott P-hiányos kezelések adták. Az állomány itt mérgezési tüneteket mutatott. Meszezett talajon a P-hiány kevésbé jelentkezett. Érés idejére a P-hatások elmaradtak és a meszezés befolyása is mérséklődött, a növény gyökerei a mélyebb és kevésbé savanyú közegben fejlődhettek. Meghatározóvá a N-adag vált, 4 t/ha terméstöbbletet eredményezve, míg a meszezés utóhatásaként 2 t/ha terméstöbbletet regisztráltunk. A K-trágyázás hatástalan maradt ezen a káliummal jól ellátott termőhelyen.

– A 4–6 leveles kukorica hajtása levéldiagnosztikai szempontból kielégítő ellátottságot jelzett a N-, K-, Ca-, Mg-, Mn-, Zn-, Cu- és B-koncentrációt tekintve. A P-trágyázás és a meszezés egyaránt javította a foszfor beépülését a növénybe, így az eredetileg gyenge ellátottság a kielégítő tartományba került. Nyomon követhető volt a P/Al, P/Zn, P/Cu, Ca/K, Ca/Sr, Ca/Zn és K/Mg antagonizmus, illetve a P/Sr szinergizmus a hajtás összetételében.

– A hajtások Al- és Fe-koncentrációja nagyságrenddel haladta meg a „normális” összetételt. Mindez hozzájárulhatott a fiatal kukorica rendellenes fejlődéséhez, a toxicitási tünetek kifejlődéséhez.

Kulcsszavak: műtrágyázás, meszezés, tartamhatás, kukorica, elemforgalom

Irodalom

- BERGMANN, W. & NEUBERT, P., 1976. Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BLASKÓ L. et al., (szerk.) 1998. Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. OMTK kiadvány. Kompolt–Karcag.
- BUZÁS I. et al. (szerk.), 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM NAK. Budapest.
- DEBRECZENI B. & DEBRECZENI B.-NÉ, 1994. Trágyázási kutatások 1960–1990. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- ELEK É. & KÁDÁR, 1980. Állókultúrák és szabadföldi növények mintavételi módszere. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.
- HOLLÓ S., 1994. A Kompolton végzett tartamkísérletek. In: Trágyázási kutatások 1960–1990. (Szerk.: DEBRECZENI B. & DEBRECZENI B.-NÉ) 46–50. Akad. Kiadó. Bpest.
- HOLLÓ S., 2003. A műtrágyázás és a mészállapot összefüggései csernozjom barna erdőtalajon. In: Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. (Szerk.: BLASKÓ L. & ZSIGRAI GY.) 181–216. OMTK kiadványa. Karcag–Keszthely.
- HOLLÓ S. & KÁDÁR I., 2003. A műtrágyázás és a meszezés hatása a talaj termékenységére. In: Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. (Szerk.: BLASKÓ L. & ZSIGRAI GY.) 217–224. OMTK kiadványa. Karcag–Keszthely.
- KÁDÁR I., 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agr. Fenn. **123**. 223–232.
- MÉM NAK, 1978. A TVG tápanyagvizsgáló laboratórium módszerfüzete. Budapest.
- NÉMETH, T., 1995. Nitrogen in Hungarian soils – nitrogen management relation to groundwater protection. J. Contam. Hydrology. **20**. 185–208.
- NÉMETH T., 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI. Budapest.
- STEFANOVITS P. & DOMBÓVÁRI L.-NÉ, 1985. A talajok agyagásvány-társulásainak térképe. Agrokémia és Talajtan. **34**. 317–330.

Érkezett: 2005. november 11.

Studies on the Effect of Mineral Fertilization and Liming in the First 30 Years of the National Long-Term Mineral Fertilization Trials in Kompolt

I. KÁDÁR and S. HOLLÓ

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry (RISSAC) of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest and Rudolf Fleischmann Research Institute of Károly Róbert College, Kompolt (Hungary)

Summary

The small-plot experiment (No. B-1730) set up in Kompolt as part of the National Long-Term Mineral Fertilization Trials was evaluated in 1997, in the 30th year. The ploughed layer of the chernozem brown forest soil contained no lime and was intensively leached. The pH(KCl) was originally around 5, the hydrolytic acidity 15–25, the clay content 40–48% and the humus content 2.5–3.0%. The nutrient supplies were moderate for N, poor for P and satisfactory for K. The groundwater was at a depth of 8–10 m and the area was prone to drought. The main results were as follows:

- In the 30th year of the experiment the after-effects of liming with 8 t/ha ground limestone could still be observed; on limed soil the pH(KCl) and the pH(H₂O) values were both 0.6 units higher, while y_1 had dropped from 29 to 20.

- The “total” P content of the soils, estimated by digestion with cc. HNO₃ + cc. H₂O₂, increased from 500 to 780 mg/kg for the maximum P rate, representing an increase of 64% in the ploughed layer. At the same time the “total” Sr content rose by approx. 50%, due to the 2% Sr contamination of superphosphate. The Ca content averaged 0.45% in the control soil and 0.50% in limed treatments. The difference was statistically significant. As the result of K fertilization the K reserves increased from 0.60% to 0.65%. Using the same method, the contents of other elements were: Al 4.26%, Fe 3.1%, Mg 0.48%, Mn 888 mg/kg, Zn 69 mg/kg, Cu 20 mg/kg and B 9 mg/kg.

- In response to P fertilization the quantity of P in the NH₄-acetate + EDTA-soluble fraction (LAKANEN & ERVIÖ, 1971) increased by an order of magnitude in the topsoil, while that of S and Sr was doubled or tripled. Limed soil was richer in Ca, Na, B, Ba and Zn, due to the composition of the liming agent, but it was poorer in Al, Fe, Mn, Ni, Pb, Co and Cr, as these elements are more readily soluble in an acidic medium.

- In the K control soil the quantity of K₂O increased from 167 to 355 mg/kg after K fertilization. There was also a slight increase in the Na reserves, due to the composition of the K fertilizer, while the soluble quantities of Ca, Mg, Mn, Ba and Co decreased. It can be assumed that these antagonistic metals suffered greater leaching losses after being replaced at their binding sites.

- The lowest shoot mass in the 4–6-leaf stage was recorded not in the absolute control, but in P-deficient treatments fertilized only with N, which became intensely acidic. Plants in these treatments exhibited phytotoxic symptoms. On limed soil the symptoms of P deficiency were less perceptible. By the time the crop ripened the P effects had disappeared and the influence of liming was less obvious, as the plant roots had reached the lower soil layers, which were less acidic. The N rate became decisive, resulting in a surplus yield of 4 t/ha, while a surplus of 2 t/ha was recorded as the after-effect of lim-

ing. K fertilization was ineffective, as the soil was already well supplied with potassium.

– Leaf analysis on maize shoots in the 4–6-leaf stage indicated satisfactory supplies on the basis of N, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu and B concentrations. Both P fertilization and liming led to improvements in the incorporation of phosphorus, resulting in the supply level improving from poor to satisfactory. P/Al, P/Zn, P/Cu, Ca/K, Ca/Sr, Ca/Zn and K/Mg antagonism could be detected, while P/Sr synergism was observed in the shoot composition. The Al and Fe concentrations in the shoots were an order of magnitude greater than the “normal” composition. All these factors could have contributed to the abnormal development of the young maize plants and to the development of toxicity symptoms.

Table 1. Analytical data for the experimental soil profile after the experiment was laid out (Chernozem brown forest soil, clay loam, Kompolt). (1) Analytical parameters, according to the methodological guidelines of the Centre of Plant Protection and Agricultural Chemistry of the Ministry of Agriculture and Food (MÉM NAK 1978). (2) Symbol and depth of the soil horizon, in cm.

Table 2. Mineral fertilizer rates (kg N, P₂O₅, K₂O/ha/year) in the B-17 experiment of the National Long-Term Mineral Fertilization Trials (OMTK) (Chernozem brown forest soil, Kompolt). (1) NPK level. (2) Applied under winter wheat. (3) Applied under maize in years 1–4, 5–20 and from the 21st year.

Table 3. Treatments and operations in the maize experiment (OMTK B-1731) in 1996–1997. (1) Treatments and operations. (2) Year, month, day. (3) Notes. Maize hybrid Stira SC, sown at 5–7 cm depth with a spacing of 70×30 cm, with 16 kg/ha seed.

Table 4. Effect of the treatments on the pH and hydrolytic acidity (y_1) of the ploughed layer and on the cc. HNO₃ + cc. H₂O₂-soluble Sr and P reserves in the limed and control plots in 1997. (1) NP treatment. a) LSD_{5%}; b) Grand mean. (2) Limed. (3) Control. Note: Average quantities of other elements were independent of the treatments.

Table 5. Effect of the treatments on the NH₄-acetate + EDTA-soluble element reserves of the ploughed layer in the limed (M) and control (Ø) plots in 1997. (1) NP treatment. a) LSD_{5%}; b) Grand mean.

Table 6. Effect of liming on the NH₄-acetate + EDTA-soluble element reserves of the ploughed layer in 1997, averaged over NPK treatments. Main effects of liming. (1) Element symbol. (2) Limed. (3) Ca control. (4) LSD_{5%}. (5) Mean.

Table 7. Effect of K fertilization on the NH₄-acetate + EDTA-soluble element reserves of the ploughed layer in 1997, averaged over NPCa treatments. Main effects of K. (1) Element symbol. (2) K fertilization. (3) K control. (4) LSD_{5%}. (5) Mean. Note: Mean values, independently of treatments, for Cu, Cd and Mo.

Table 8. Effect of the treatments on the yield of maize in the 4–6-leaf stage and at harvest on limed (M) and control (Ø) plots in 1997. (1) NP treatment. a) LSD_{5%}; b) Grand mean. (2) Fresh shoots, g/20 shoots. (3) Air-dry shoots, g/20 shoots. (4) Grain yield, t/ha.

Table 9. Effect of the treatments on the element composition of the air-dry shoots of 4–6-leaf maize on limed (M) and control (Ø) plots on 8 July 1997. (1): see Table 8. Note: Average values of listed elements, independently of the treatments.

Table 10. Effect of the treatments on the Zn, Sr, Ba and Cu contents of the air-dry shoots of 4–6-leaf maize on limed (M) and control (Ø) plots on 8 July 1997. (1): see Table 8.